WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM Internationales Büro

INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation 6 :

H01S 3/06, 3/094, C03B 37/01

A1

(11) Internationale Veröffentlichungsnummer:

IT, LU, MC, NL, PT, SE).

WO 97/12429

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum:

3. April 1997 (03.04.97)

(21) Internationales Aktenzeichen:

PCT/EP96/04187

(22) Internationales Anmeldedatum:

25. September 1996

(25.09.96)

(30) Prioritätsdaten:

195 35 526.1

25. September 1995 (25.09.95)

Veröffentlicht

Mit internationalem Recherchenbericht.

Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist. Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.

(81) Bestimmungsstaaten: CA, CN, JP, RU, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE,

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): LDT GMBH & CO. LASER-DISPLAY-TECHNOLOGIE KG [DE/DE]; Carl-Zeiss-Strasse 2, D-07552 Gera (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): ZELLMER, Holger [DE/DE]; Schulenburger Landstrasse 268, D-30419 Hannover (DE). BONSE, Jöm [DE/DE]; Hainwinkel 3, D-31275 Lehrte-Arpke (DE). UNGER, Sonja [DE/DE]; Talstrasse 16, D-07743 Jena (DE). REICHEL, Volker [DE/DE]; Am Teich 10, D-07743 Jena (DE).

(74) Anwalt: GEYER, FEHNERS & PARTNER; Perhamerstrasse 31. D-80687 München (DE).

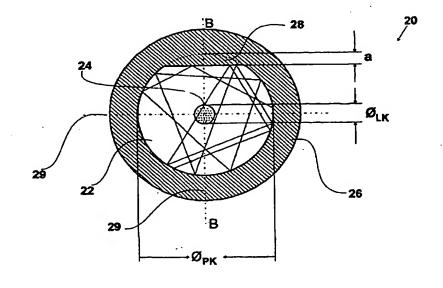
DOUBLE-CORED FIBRE AMPLIFIER

(54) Title: DOUBLE-CORED OPTICAL FIBRE, PROCESS FOR THEIR PRODUCTION, DOUBLE-CORED FIBRE LASER AND

(54) Bezeichnung: DOPPELKERN-LICHTLEITFASER, VERFAHREN ZU IHRER HERSTELLUNG, DOPPELKERN-FASERLASER UND DOPPELKERN-FASERVERSTÄRKER

(57) Abstract

The invention relates to a double-cored optical fibre consisting of a pumping core (22), a laser core (24) arranged centrally therein and a sheath (26) surround the pumping The essentially circular core (22). pump core (22) has a ground section (28) on the outside running in the light direction of the double-cored optical fibre (20) and occupying 1 to 49 % of the diameter of said pump core (22). The invention also relates to a process for producing the double-cored fibre laser and a double-cored fibre amplifier making use of the double-cored optical fibre of the invention. The essentially circular pump core (22) with its centrally fitted laser core (24) facilitates connection ot other light guide components and the easy injection of the pump light.



1. Bezeichnung der Erfindung

Doppelkern-Lichtleitfaser, Verfahren zu ihrer Herstellung, Doppelkern-Faserlaser und Doppelkern-Faserverstärker

2. Technisches Gebiet

Die Erfindung betrifft eine Doppelkern-Lichtleitfaser gemäß dem Oberbegriff des

15 Anspruchs 1.

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer Doppelkern-Lichtleitfaser gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 5.

Die Erfindung betrifft eine Doppelkern-Faserlaser gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 8.

20 Die Erfindung betrifft eine Doppelkern-Faserverstärker gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 12.

Die Erfindung findet beispielsweise in der optischen Nachrichtenübertragung, der Lasertechnik, Lasermeßtechnik, Medizintechnik, und der Bilddarstellung mittels Laserstrahlung Anwendung.

25

3. Stand der Technik

Aus "Optics Letters", Vol. 20 Nr. 6 Seiten 578-580 ist bereits ein Doppelkern-Faserlaser mit einem im Querschnitt runden Pumpkern bekannt, in dem ein Laserkern zentrisch angeordnet ist und von einer Umhüllung umgeben ist. Dieser bekannte Doppelkern-Faserlaser hat den Nachteil, daß nur ein Teil des Pumplichts im zentrischen Laserkern absorbiert wird, weil sich im Inneren des Pumpkerns sogenannte Helixstrahlen ausbilden, die den Laserkern nicht kreuzen und daher nicht absorbiert werden.

10

Aus der US-PS 4 815 079 ist ein Doppelkern-Faserlaser mit rundem Pumpkern und azentrischem Laserkern bekannt. Dieser Doppelkern-Faserlaser ist schwer zu fertigen und der Laserkern neigt dazu, sich im Querschnitt ellipsenförmig zu verformen. Aus der Patentschrift ist ferner ein Doppelkern-Faserlaser mit einem im Querschnitt rechteckigem Pumpkern und zentrischem Laserkern bekannt. Auch dieser Doppelkern-Faserlaser ist nur mit hohem Aufwand zu fertigen. An den Kanten der Pumpkerns treten Pumplichtverluste auf und die Einkopplung von Pumplicht aus Diodenlasern ist aufgrund der rechteckigen Geometrie schwerer als bei Doppelkern-Faserlaser mit rundem Pumpkern. Ferner sind Faserlaser mit rechteckigem Querschnitt nicht zu Standard-Faserkomponenten kompatibel.

4. Aufgabe der Erfindung

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, eine neuartige DoppelkernLichtleitfaser zu entwickeln, die einfacher herstellbar ist, eine höhere Effizienz im
Verstärkerbetrieb aufweist, und kompatibel zu faseroptischen Herstellungsverfahren und
Standardkomponenten ist. Weiterhin sollen ein Doppelkern-Faserlaser und ein DoppelkernFaserverstärker angegeben werden, die einfach herstellbar sind und eine im wesentlichen
vollständige Absorption des Pumplichts im Laserkern ermöglichen und damit einen hohen
optischen Wirkungsgrad erreichen.

5. Wesen der Erfindung

Diese Aufgabe wird durch die Erfindung bei einer Doppelkern-Lichtleitfaser gemäß dem Oberbegriff mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

- Diese Aufgabe wird durch die Erfindung bei einem Verfahren zur Herstellung einer Doppelkern-Lichtleitfaser gemäß dem Oberbegriff durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 5 gelöst.
 - Diese Aufgabe wird durch die Erfindung bei einem Doppelkern-Faserlaser gemäß dem Oberbegriff durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 8 gelöst.
- Diese Aufgabe wird durch die Erfindung bei einem Doppelkern-Faserverstärker gemäß dem Oberbegriff durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 12 gelöst.

Die vorteilhaften Weiterbildungen der erfindungsgemäßen Aufgabenlösungen sind in den, den jeweiligen Hauptansprüchen zugeordneten, Unteransprüchen angegeben.

WO 97/12429 PCT/EP96/04187

3

Die Erfindung schlägt eine Doppelkern-Lichtleitfaser mit einen runden Pumpkern vor, die einen zentrisch eingebetteten Laserkern aufweist und der außenseitig wenigstens einen in Längsrichtung (Richtung der Lichtausbreitung) der Doppelkern-Lichtleitfaser verlaufenden Abschliff aufweist, so daß ein im Querschnitt D-förmiger Pumpkern entsteht. Durch diesen Abschliff wird die Symmetrie des Pumpkerns gebrochen, wodurch sich keine Helixstrahlen mehr ausbilden können. Stattdessen wird der Strahlverlauf im Pumpkern chaotisch, wodurch erreicht wird, daß das eingekoppelte Pumplicht nahezu vollständig im Laserkern absorbiert wird. Die im wesentlichen runde Faser mit zentrischem Laserkern erlaubt eine einfache Verbindung mit faseroptischen Komponenten sowie eine einfache Einkopplung des Pumplichts.

5

10

- Das Verfahren zur Herstellung der erfindungsgemäßen Doppelkern-Lichtleitfaser erfordert gegenüber den Standardverfahren nur einen relativ einfach zu beherrschenden Verfahrensschritt: Das Anschleifen der Zylinderfläche der Preform, was mittels üblicher Planschleifmaschinen erfolgen kann, die in der optischen Industrie verwendet werden.
- Die mit der erfindungsgemäßen Doppelkern-Lichtleitfaser aufgebauten Doppelkern-Faserlaser erreichen im Vergleich zu herkömmlichen Faserlasern einen höheren optischen Wirkungsgrad und benötigen eine geringere Faserlänge zur vollständigen Pumplichtabsorption. Durch den im wesentlichen runden Pumpkern ist die Einkopplung von Pumpstrahlung insbesondere aus fasergekoppelten Pumpquellen besonders einfach und mit geringen Verlusten zu realisieren.
 - Die mit der erfindungsgemäßen Doppelkern Lichtleitfaser aufgebauten Doppelkern-Faserverstärker erreichen einen höheren optischen Wirkungsgrad als mit herkömmlichen Doppelkernfasern aufgebaute Faserverstärker. Durch den im wesentlichen runden Pumpkern ist die Einkopplung von Pumpstrahlung insbesondere aus fasergekoppelten Pumpquellen besonders einfach und mit geringen Verlusten zu realisieren.

6. Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Die Erfindung soll nachfolgend anhand von Figuren näher erläutert werden.

5 Es zeigen:

- Fig. 1 schematisch den prinzipiellen Aufbau eines Doppelkern-Faserlasers,
- Fig. 2 eine Doppelkern-Faser mit rundem Pumpkern gemäß dem Stand der Technik,
- Fig. 3 eine erfindungsgemäß ausgebildeten Doppelkern-Lichtleitfaser im Querschnitt
- Fig. 4 einen Teil eines Schnittes B-B durch die Doppelkern-Lichtleitfaser nach Fig. 3
- Fig. 5 eine grafische Darstellung der Pumplichtabsorption in Abhängigkeit von der Größe des Abschliffs und der Faserlänge,
- Fig. 6 schematisch den prinzipiellen Aufbau eines Doppelkern-Faserverstärkers.

15

35

absorbieren.

10

7. Wege zur Ausführung der Erfindung

Die Fig.1 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines Faserlasers 100, bestehend aus einer Laserdiode 102, deren Strahlung 104 über eine Koppeloptik 106 und einen Einkoppelspiegel 108 in eine Doppelkern-Lichtleitfaser 110 eingekoppelt wird. Die in der Faser 110 erzeugte Laserstrahlung 112 wird über einen Auskoppelspiegel 114 ausgekoppelt. Die beiden Spiegel 20 108 und 114 sind unmittelbar an den Faserenden angeordnet. Die Fig. 2 zeigt eine aus dem Stand der Technik bekannte Doppelkern-Lichtleitfaser 2 im Querschnitt. Diese Doppelkern-Lichtleitfaser weist einen Pumpkern 4 mit rundem Querschnitt auf, der beispielsweise aus Quarzglas gefertigt ist. In dem Pumpkern 4 ist 25 zentrisch ein runder Laserkern 6 angeordnet, der beispielsweise aus einem mit Neodym oder einem anderen Selten-Erd-Metall dotierten Medium besteht. Der Pumpkern 4 ist auf seinem Außendurchmesser mit einer Umhüllung 8 umgeben, die beispielsweise aus einem transparenten Polymer oder Glas mit einem gegenüber dem Pumpkern niedrigerem Brechungsindex besteht. Der Pumpkern 4 dient sowohl aus Umhüllung für den Laserkern 6 30 als auch als Wellenleiter mit hoher numerischer Apertur für das Pumplicht. Die Fig. 2 verdeutlicht, daß sich bei einer herkömmlichen Doppelkern-Lichtleitfaser mit im Querschnitt kreisrundem Pumpkern 4 überwiegend Helixstrahlen 10 ausbilden, die den Laserkern 6 nicht kreuzen und daher vom Laserkern nicht absorbiert werden können. Solche

Doppelkern-Lichtleitfasern können daher im Laserbetrieb nur etwa 10% der Pumpstrahlung

15

20

25

30

35

PCT/EP96/04187

Die Fig. 3 zeigt einen Querschnitt und Fig. 4 einen Längsschnitt einer erfindungsgemäß ausgebildeten Doppelkern-Lichtleitfaser 20 mit einem beispielsweise aus Quarzglas bestehendem Pumpkern 22, in dem ein runder, beispielsweise aus Neodym-dotiertem Medium bestehender Laserkern 24 bezogen zu einer gemeinsamen Symmetrieachse 29 zentrisch angeordnet ist und von einer transparenten Umhüllung 26 umgeben ist, die einen niedrigen Brechungsindex aufweist und beispielsweise aus einem Polymer besteht.

Die Darstellung der Doppelkern-Lichtleitfaser 20 enthält in Figur 4 noch Spiegel 32 und 33, die auf die Enden der Faser aufgebracht, zum Beispiel aufgedampft sind, so daß eine Laserresonatoranordnung vorliegt.

Anders als bei herkömmlichen Doppelkern-Lichtleitfasern 2 nach Fig. 2 ist der Pumpkern 22 gemäß Figur 3 und Figur 4 an seiner Umfangsfläche mit einem Abschliff 28 in Längsrichtung der Faser versehen und im übrigen Querschnitt kreisrund ausgebildet. Durch den Abschliff 28 wird die Kreis-Symmetrie der Doppelkern-Lichtleitfaser gebrochen.

Die Fig. 3 verdeutlicht, daß sich durch den Abschliff 28 ein chaotischer Strahlverlauf ausbildet, wodurch im Verlauf der Längenausdehnung der Doppelkern-Lichtleitfaser praktisch alle in der Faser geführten Lichtanteile mit dem Laserkern 24 in Wechselwirkung treten können und bei entsprechender Faserlänge eine nahezu 100%ige Absorption des Pumplichts erreicht wird. Der Abschliff verhindert die Ausbildung von Helixstrahlen und ist leicht herstellbar.

Es können jedoch auch mehr als ein solcher Abschliff am Pumpkern vorgesehen sein, beispielsweise drei Abschliffe in einem Winkel von 120°, die so zu bemessen sind, daß die im wesentlichen runde Form des Pumpkerns erhalten bleibt.

Mögliche Abmessungen der Doppelkern-Lichtleitfaser 20 sind wie folgt:

Pumpkerndurchmesser ØpK

(an der Stelle ohne Abschliff): 10 bis 600 μm

Laserkerndurchmesser Ø_{LK}: 1,5 bis 20 μm

Stärke der Umhüllung: 5 bis 100 µm

Abschliff a: 1 bis 49 % des Pumpkerndurchmessers ØpK

Für eine Laseranwendung ist die Länge der verwendeten Faser I_F zweckmäßigerweise zwischen 0,3 bis 50 m zu bemessen, für Verstärkeranwendungen zwischen 0,3 und 10 m.

10

15

20

25

Zur Ausführung eines Faserresonators sind, wie dies in der Fig. 1 und in Fig. 4 dargestellt ist, auf den Enden der Doppelkern-Lichtleitfaser Dielektrische Spiegel angeordnet, wobei auf der Pumpseite bzw. Einkoppelseite ein Spiegel 108 (Fig. 1) bzw. 32 (Fig. 4) mit hohem Reflexionsgrad für das Laserlicht und mit hohem Transmissionsgrad für das Pumplicht 104 (Fig. 1) bzw. 34 (Fig. 4) und auf der Auskoppelseite ein Spiegel 114 (Fig. 1) bzw. 33 (Fig. 4) mit hohem Reflexionsgrad für das Pumplicht und hohem Transmissionsgrad für das Laserlicht 112 (Fig.1) bzw. 36 (Fig. 4) verwendet wird. Die Spiegel 32 und 33 bzw. 108 und 114 können direkt auf die Faserendfläche aufgebracht werden oder es können Spiegel auf die Faserendfläche gepreßt werden oder vor die Faserenden gestellt werden.

Die Pumpstrahlung wird innerhalb der Doppelkern-Lichtleitfaser an der Grenzfläche Umhüllung 26 - Pumpkern 22 mehrfach reflektiert, kreuzt dabei nach einer oder mehreren Reflexionen den Laserkern 24, mit dem das Licht wechselwirkt bis es im Laserkern 24 absorbiert ist.

Die Fig. 5 zeigt eine Darstellung der Pumplichtabsorption A in einem Doppelkern-Faserlaser gemäß den Figuren 1 und 4 in Abhängigkeit vom Abschliff und der Faserlänge I_F. Die Kurven 40 mit 1 µm Abschliff, 42 mit 5 µm Abschliff und 44 mit 25 µm Abschliff von einem Pumpkern mit 100 µm Durchmesser zeigen die Pumplichtabsorption A im Vergleich zu einer Doppelkern-Lichtleitfaser mit rundem Pumpkern, 0 µm Abschliff, nach Stand der Technik, vgl. Kurve 46. Man erkennt, daß die Absorption A schon bei einem sehr wenig abgeschliffenen Pumpkern deutlich über der Absorption A in einer Doppelkern-Lichtleitfaser mit herkömmlichem, runden Pumpkern liegt. Die Absorption A steigt ferner mit zunehmender Faserlänge, während die Zunahme der Absorption mit größer werdendem Abschliff nicht so stark ausgebildet ist.

Die Herstellung der Außengeometrie des Pumpkerns, der den Laserkern enthält, erfolgt
durch Abschleifen der Preform im Bereich von 1 bis 49% des Durchmessers der Preform.
Die Preform wird nach dem Abschleifen bei niedrigerer als gewöhnlicher Temperatur zur
Faser ausgezogen, um die D-förmige Geometrie beizubehalten.
Die stoffliche Zusammensetzung der Laserfasern entspricht der von Standardfasern, wie sie aus der Literatur bekannt sind. Der erforderliche Brechzahlverlauf in der Faser wird durch
Kodotierung mit Germanium, Phosphor und Fluor erzeugt.

Die Fig. 6 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines Doppelkern-Faserverstärkers bestehend aus einer Pumpquelle 202, deren Strahlung 204 mit einem Kollimator 216 kollimiert wird und über eine Strahlvereinigungseinrichtung 218, beispielsweise ein Dichroitischer Spiegel, mit der Koppeloptik 206 in die Doppelkern-Lichtleitfaser 200 über die Faserendfläche 208 eingekoppelt wird. Die Faserendflächen 208 und 214 sind mit einer Antireflexbeschichtung versehen oder unter einem Winkel zur optischen Achse geschnitten, um optische Rückkopplung innerhalb der Doppelkern-Lichtleitfaser zu vermeiden. Die Signalstrahlung 220 wird durch die Strahlvereinigungseinrichtung 218 und die Koppeloptik 206 in die Doppelkern-Lichtleitfaser eingekoppelt. An der der Einkoppelseite gegenüberliegenden Faserendfläche 214 der Doppelkern-Lichtleitfaser wird die verstärkte Signalstrahlung 212 ausgekoppelt.

15 Beispielhafte Abmessungen für 4-Niveau-Laser- oder -Verstärkersysteme:

Laserkerndurchmesser:

5 µm

Pumpkerndurchmesser:

125 µm

Abschliff:

20 µm

Ein mit 1300 ppm Neodym dotierter Faserlaser erreicht mit der angegebenen Geometrie und einer Pumpwellenlänge von 810 nm einen optischen Wirkungsgrad von über 40% bei einer Laserwellenlänge von 1060 nm und 2 W Ausgangsleistung.

Beispielhafte Abmessungen für 3-Niveau-Laser- oder -Verstärkersysteme und Up-Conversion Laser:

25

30

20

5

10

Laserkerndurchmesser:

3,5 µm

Pumpkerndurchmesser:

20 µm

Abschliff:

5 µm

Ein mit Praseodym und Ytterbium dotierter Faserlaser kann mit der angegebenen Geometrie einen optischen Wirkungsgrad von über 20% bei einer Laserwellenlänge von 635 nm und über 1 W Ausgangsleistung erreichen.

Patentansprüche

5

- 1. Doppelkern-Lichtleitfaser, die
 - - aus einem Pumpkern (22),
 - - einem im Pumpkern (22) zentrisch angeordneten Laserkern (24) und
 - - einer den Pumpkern (22) umgebenden Umhüllung (26) aufgebaut ist,

10 dadurch gekennzeichnet, daß

der im Querschnitt im wesentlichen kreisrund ausgebildete Pumpkern (22) außenseitig mindestens einen in Lichtrichtung der Doppelkern-Lichtleitfaser (20) verlaufenden Abschliff (28) aufweist, der 1 % bis 49 % des Durchmessers des Pumpkerns (22) beträgt.

15

20

2. Doppelkern-Lichtleitfaser nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, daß

in Abhängigkeit von der Laserlichtwellenlänge und der Anwendung

- der Durchmesser des Pumpkerns (22) ohne Abschliff (28) im Bereich von \varnothing_{PK} = 5 µm bis 600 µm und
- der Durchmesser des Laserkerns (24) im Bereich von \varnothing_{LK} = 1,5 µm bis 20 µm liegt und
- der an dem Umfang des Pumkerns (22) meßbare Abschliff (28)
 a = 1 μm bis 200 μm beträgt.

25

- 3. Doppelkern-Lichtleitfaser nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß
- die Umhüllung (26) der Doppelkern-Lichtleitfaser aus einem Polymer oder Glasmaterial mit einer gegenüber dem Pumpkern (22) niedrigeren Brechzahl und
- einer Dicke größer etwa 5 µm besteht.

30

- 4. Doppelkern-Lichtleitfaser nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß
- jede der zwei Endflächen der Doppelkern-Lichtleitfaser orthogonal und/oder in einem
 Winkel kleiner 90° zur optischen Achse ausgerichtet ist, optische Qualität hat und
- mit einer für bestimmte Wellenlängenbereiche spiegelnden und/oder entspiegelnden Schicht, zumindest im Bereich des Laserkerns (24), beschichtet ist.

PCT/EP96/04187

WO 97/12429

5

20

30

9

- 5. Verfahren zur Herstellung einer Doppelkern-Lichtleitfaser mit den Verfahrensschritten
- Herstellung einer zylinderförmigen Preform aus einer Quarz oder
 Glas mit einem Standardverfahren,
- Ziehen der Glasfaser aus der erwärmten Preform,

dadurch gekennzeichnet, daß

- die Preform auf der Zylinderaußenfläche nach der Herstellung mindestens einen Anschliff erhält, der 1 % bis 49 % des Durchmessers der Preform beträgt und
- die Doppelkern-Lichtleitfaser aus der angeschliffenen Preform gezogen wird, wobei die Ziehtemperatur der Preform so eingestellt wird, daß die Außengeometrie der Preform und die Außengeometrie des Pumpkerns (22) kongruent bleiben.
 - 6. Verfahren zur Herstellung einer Doppelkern-Lichtleitfaser nach Anspruch 5,

15 dadurch gekennzeichnet, daß

- die Preform nach dem Anschliff von einer Glasschicht oder Quarzschicht mit niedrigerem Brechungsindex als dem des Materials des späteren Pumpkerns in einer Dicke aufgebracht wird, wobei die Dicke so gewählt wird, daß die Doppelkern-Lichtleitfaser nach dem Ausziehen der Preform einen Durchmesser von mindestens etwa 80 µm hat.
- 7. Verfahren zur Herstellung einer Doppelkern-Lichtleitfaser nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß
- der Außendurchmesser der Preform im Bereich von 5 mm bis 20 mm und
- 25 der Anschliff der Preform im Bereich von 1 mm bis 8 mm liegt und
 - die Preform mit in Zylinderrichtung gleichbleibenden Außenabmessungen hergestellt wird und
 - eine Doppelkern-Lichtleitfaser (100, 200, 20) mit einem gleichbleibenden
 Durchmesser des Pumpkerns (22), gemessen an der Stelle ohne Abschliff (28),
 im Bereich von Ø_{PK} = 5 μm bis 600 μm ausgezogen wird.

- 8. Doppelkern-Faserlaser (100) bestehend aus in Lichtrichtung angeordneten Baugruppen,
 - einer Pumpquelle (Laserdiode 102),
- 5 vorzugsweise einer Einkoppeloptik (106),
 - einem ersten Dielektrischen Spiegel (108, 32), der mit dem Anfang einer Doppelkern-Lichtleitfaser (110, 20) korrespondiert,
 - der Doppelkern-Lichtleitfaser (110, 20), die
 - - aus einem Pumpkern (22),
- 10 -- einem im Pumpkern (22) zentrisch angeordneten Laserkern (24) und
 - - einer dem Pumpkern (22) umgebenden Umhüllung (26) aufgebaut ist, weiterhin
 - einem zweiten Dielektrischen Spiegel (114, 33) der mit dem Ende der Doppelkern-Lichtleitfaser (110, 20) korrespondiert

dadurch gekennzeichnet, daß

- der im Querschnitt im wesentlichen kreisrund ausgebildete Pumpkern(22)
 außenseitig mindestens einen in Lichtrichtung der Doppelkern-Lichtleitfaser (20)
 verlaufenden Abschliff (28) aufweist, der 1% bis 49 % des Durchmessers des
 Pumpkerns (22) beträgt.
- 20 9. Doppelkern-Faserlaser nach Anspruch 8,

dadurch gekennzeichnet, daß

- die Länge der Doppelkern-Lichtleitfaser größer 0,1 m ist.
- 10. Doppelkern-Faserlaser nach Anspruch 8,
- 25 dadurch gekennzeichnet, daß

für 4-Niveau-Lasersysteme

- der Durchmesser des Pumpkerns (22) an der Stelle ohne Abschliff (28) Ø_{PK} = 75 μm bis 600 μm und
- der Durchmesser des Laserkerns (24) \varnothing_{LK} = 2 µm bis 20 µm groß sind und
- 30 der am Umfang des Pumpkerns (22) meßbare Abschliff (28) a = 5 μm bis 100 μm beträgt.

WO 97/12429 PCT/EP96/04187

11

11. Doppelkern-Faserlaser nach Anspruch 8,

dadurch gekennzeichnet, daß

10

30

- 5 3-Niveau-Lasersysteme und up-conversion-Lasersysteme
 - der Durchmesser des Pumpkerns (22) an der Stelle ohne Abschliff (28)

 Ø_{PK} = 10 μm bis 50 μm und
 - der Durchmesser des Laserkerns (24) \varnothing_{LK} = 2 μ m bis 10 μ m groß sind und
 - der am Umfang des Pumpkerns (22) meßbare Abschliff (28) a = 1 μm bis 15 μm beträgt.
 - 12. Doppelkern-Faserverstärker bestehend aus in Lichtrichtung angeordneten Baugruppen,
 - einer Pumpquelle (Laserdiode 202),
 - vorzugsweise einer Kollimatoroptik (216),
- 15 einer Einrichtung zur Strahlvereinigung (Dichroitischer Spiegel 218),
 - vorzugsweise einer Einkoppeloptik (206),
 - einer entspiegelnden oder gegenüber der optischen Achse schräg gestellten Faserendfläche als Eingang für das Pumplicht und das optische Signal,
 - der Doppelkern-Lichtleitfaser (200), die
- 20 -- aus einem Pumpkern (22),
 - - einem im Pumpkern (22) zentrisch angeordneten Laserkern (24) und
 - - einer dem Pumpkern (22) umgebenden Umhüllung (26) aufgebaut ist, weiterhin
 - einer entspiegelnden oder gegenüber der optischen Achse schräg gestellten Faserendfläche als Ausgang für das verstärkte optische Signal

25 dadurch gekennzeichnet, daß

der im Querschnitt im wesentlichen kreisrund ausgebildete Pumpkern (22)
 außenseitig mindestens einen in Lichtrichtung der Doppelkern-Lichtleitfaser (20)
 verlaufenden Abschliff (28) aufweist, der 1 % bis 49 % des Durchmessers des
 Pumpkerns (22) beträgt.

13. Doppelkern-Faserverstärker nach Anspruch 12,

dadurch gekennzeichnet, daß

- 5 die Länge der Doppelkern-Lichtleitfaser größer 0,1 m ist und
 - die größte Länge dadurch bestimmt ist, daß das verstärkte optische Signal im Betrieb größer als die verstärkte Spontanemission ist, wobei die größte Doppelkem-Faserlänge kleiner 50 m ist.
- 10 14. Doppelkern-Faserverstärker nach Anspruch 12,

dadurch gekennzeichnet, daß

für 4-Niveau-Systeme

- der Durchmesser des Pumpkerns (22) an der Stelle ohne Abschliff (28)

 Ø_{PK} = 75 μm bis 600 μm und
- 15 der Durchmesser des Laserkerns (24) $Ø_{LK}$ = 2 μm bis 20 μm groß sind und
 - der am Umfang des Pumpkerns (22) meßbare Abschliff (28) a = 5 μm bis 100 μm beträgt.
 - 15. Doppelkern-Faserverstärker nach Anspruch 12, für sichtbares Licht,

20 dadurch gekennzeichnet, daß

3-Niveau-Lasersysteme und up-conversion-Lasersysteme

- der Durchmesser des Pumpkerns (22) an der Stelle ohne Abschliff (28)

 Ø_{PK} = 10 μm bis 50 μm und
- der Durchmesser des Laserkerns (24) \varnothing_{LK} = 2 μ m bis 10 μ m groß sind und
- 25 der am Umfang des Pumpkerns (22) meßbare Abschliff (28) a = 1 μ m bis 15 μ m beträgt.

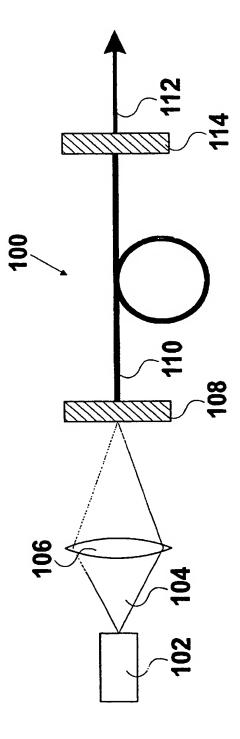
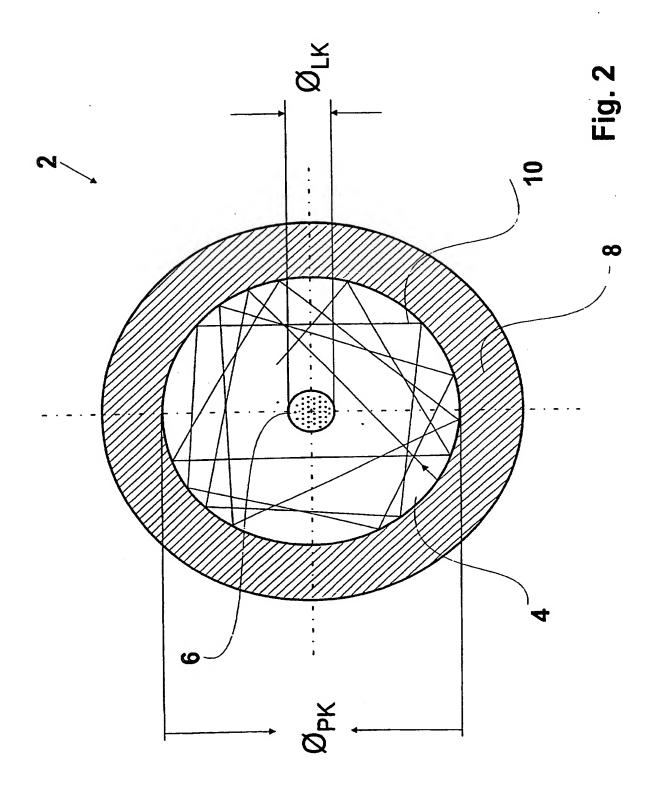
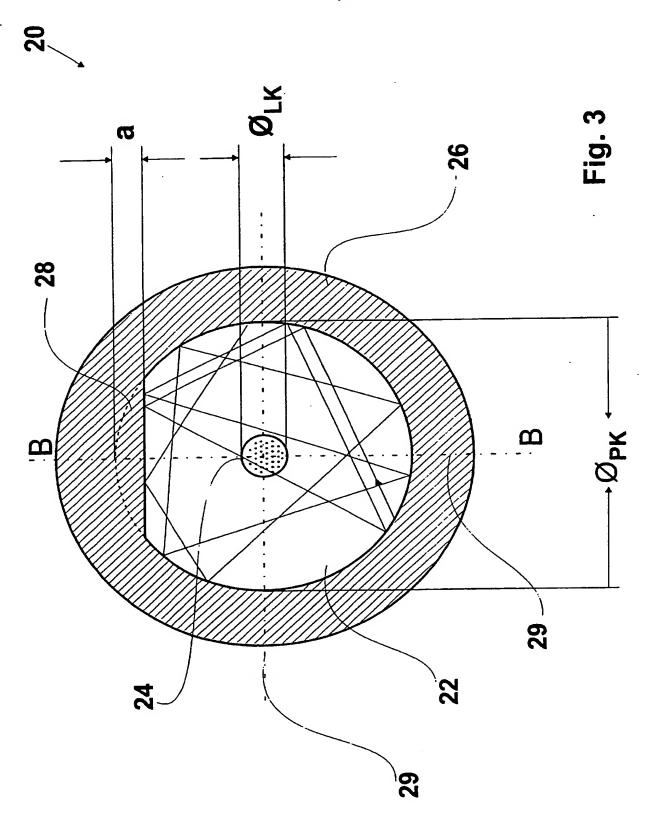


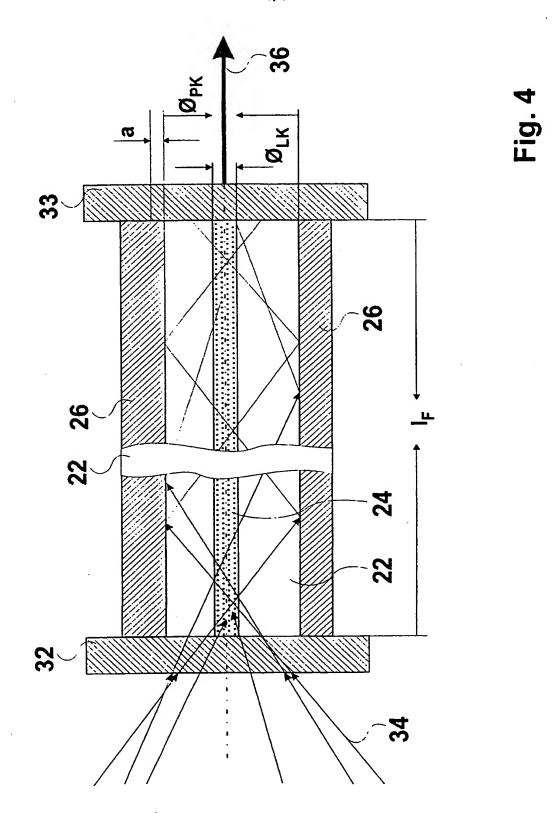
Fig. 1

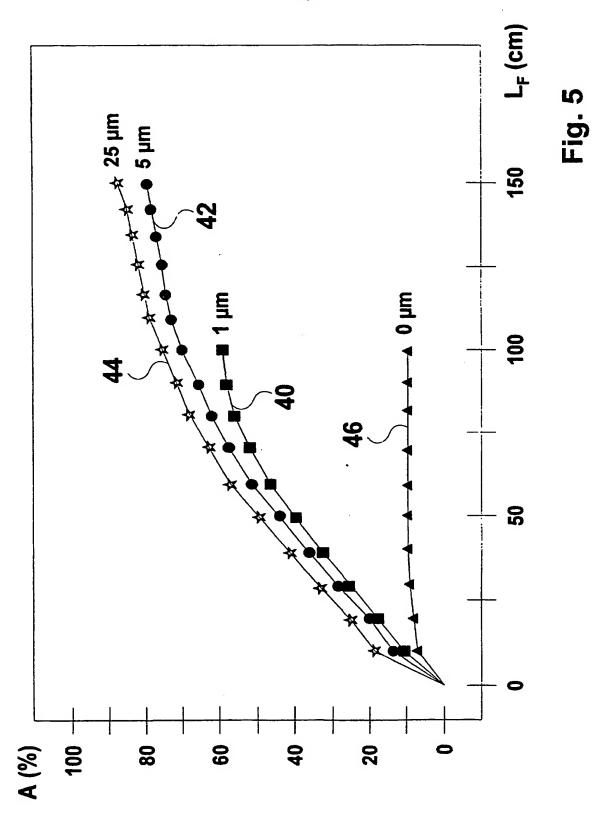
2/6

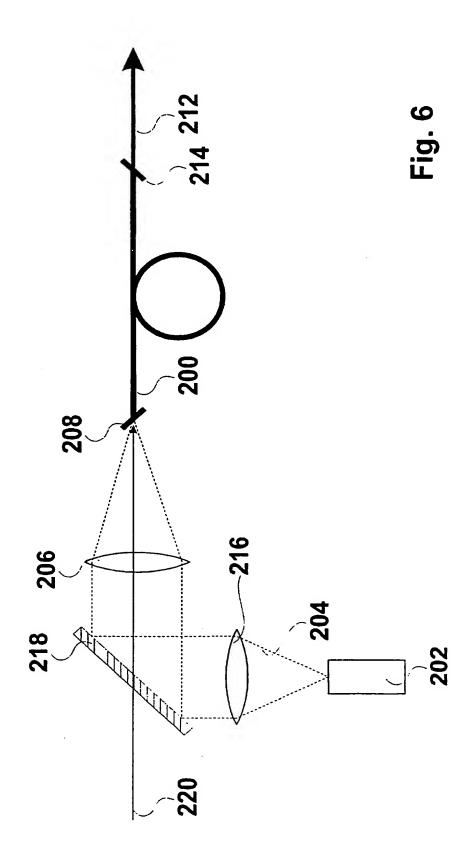




4/6







INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int ional Application No PCT/EP 96/04187

A. CLASSI IPC 6	FICATION OF SUBJECT MATTER H01S3/06 H01S3/094 C03B37/0	1					
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC							
B. FIELDS SEARCHED							
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 6 H01S C03B							
	Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched						
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)							
C. DOCUM	MENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT						
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the re	levant passages	Relevant to claim No.				
A	US,A,4 815 079 (SNITZER ELIAS ET AL) 21 March 1989 cited in the application see abstract		1				
A	US,A,5 418 880 (LEWIS JOHN R ET AL) 23 May 1995 see column 6, line 60 - column 7, line 14		1,8,12				
A	US,A,5 373 576 (MINNS RICHARD A December 1994 see column 3, line 52 - column 4,		1				
Fur	Further documents are listed in the continuation of box C. X Patent family members are listed in annex.						
* Special categories of cited documents: T later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the							
considered to be of particular relevance invention "E" earlier document but published on or after the international "X" document of particular relevance; the claimed invention filing date cannot be considered novel or cannot be considered to							
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "I document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the cannot be considered to involve an inventive step when the cannot be considered to involve an inventive step when the cannot be considered to involve an inventive step when the cannot be considered to involve an inventive step when the cannot be considered to involve an inventive step when the cannot be considered to involve an inventive step when the cannot be considered to involve an inventive step when the cannot be considered to involve an inventive step when the document inventive step when the considered to involve an inventive step when the cannot be considered to involve an inventive step when the considered to involve an inventive step when the cannot be considered to involve an inventiv							
'P' docum	family						
	Date of the actual completion of the international search 9 January 1997 Date of mailing of the international search report 05.02.97						
Name and mailing address of the ISA Authorized officer							
European Patent Office, P.B. 5818 Patentiaan 2 NL - 2280 HV Rijawik Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax (+31-70) 340-3016		Galanti, M					

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Inter males Aktenzeichen
PCT/EP 96/04187

Im Recherchenbericht ingeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied Patentf		Datum der Veröffentlichung
US-A-4815079	21-03-89	CA-A- DE-A- EP-A- JP-A-	1324517 3874701 0320990 1260405	23-11-93 22-10-92 21-06-89 17-10-89
US-A-5418880	23-05-95	WO-A-	9604701	15-02-96
US-A-5373576	13-12-94	KEINE		

Formblett PCT/ISA/210 (Anhang Patenthmilie)(Juli 1992)

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Inte onales Aktenzeichen
PCT/EP 96/04187

A. KLASSIE IPK 6	FIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES H01S3/06 H01S3/094 C03B37/01			
Nach der Int	ernationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassi	fikation und der IPK	G.	
B. RECHER	CHIERTE GEBIETE	<u> </u>		
IPK 6	er Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole H01S C03B			
	e aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, sowe			
Während der	r internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Nam	ne der Datenbank und evtl. verwendete S	Suchbegriffe)	
C. ALS WI	ESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN			
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe	der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.	
A	US,A,4 815 079 (SNITZER ELIAS ET 21.März 1989 in der Anmeldung erwähnt siehe Zusammenfassung	AL)	1	
A	US,A,5 418 880 (LEWIS JOHN R ET A 23.Mai 1995 siehe Spalte 6, Zeile 60 - Spalte 14		1,8,12	
A	US,A,5 373 576 (MINNS RICHARD A E 13.Dezember 1994 siehe Spalte 3, Zeile 52 - Spalte 15		1	
	eitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu nehmen	X Siehe Anhang Patentiamilie	m internationalen Anmeldedatum	
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutism anzuschen ist "E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "Anmeldeng nicht kollidert, sondern nur zumVerstindnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "Veröffentlichung von besonderer Bedeutung, die beanspruchte Erfindu san allein aufgrund dieser Veröffentlichung ve				
den	beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist es Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen R		
Datum d	9. Januar 1997	0 5. 02. 97		
Name und Postanschrift der Internationale Recherchenbehörde Bevollmächtigter Bediensteter				
latine m	Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentiaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Td. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax (+31-70) 340-3016	Galanti, M		